第 42 卷 增刊
1999 年 8 月

昆 虫 学 报
ACTA ENTOMOLOGICA SINICA

Vol.42, Suppl.
Aug., 1999

世界麦双尾蚜研究进展：防治方法和策略*

梁宏斌　张润志　张广学
（中国科学院动物研究所，北京　100080）

麦双尾蚜 *Diuraphis noxia*（Mordvilko）在许多国家对作物产量造成严重损失，现已经成为世界性麦类作物大害虫，本文对麦双尾蚜的农业防治、生物防治、化学防治的研究现状进行综述。

1　农业防治措施

麦双尾蚜的农业防治措施提出较早。Grossheim 曾提出改善耕作习惯是防治麦双尾蚜的基本措施[1]，具体办法是：作物收获时减少麦粒落入路边或田间，以防止出苗后滋生麦双尾蚜，并烧毁麦茬消灭田间麦双尾蚜；种植诱集植物大麦，再进行翻耕消灭麦双尾蚜；对收割后的麦茬也进行翻耕，消灭麦双尾蚜的卵；并建议冬麦晚播避开麦双尾蚜为害，春麦早播抗御麦双尾蚜为害。但这些措施在当时只是作为建议提出，并未见得到实施。随着麦双尾蚜入侵到南非和美国并造成严重危害后，才开始对麦双尾蚜进行大量的农业防治的研究。

1.1　作物播种期的影响

在美国爱达荷州，晚播大麦在夏季有较多的麦双尾蚜繁殖为害，是麦双尾蚜的“储存库”，所以建议春麦早播，避免“储存”较多的麦双尾蚜[2]。在蒙大拿州试验表明，推迟冬麦播种可减少秋天麦双尾蚜的为害率，但不要太晚，保证冬天来临之前小麦正常分蘖，否则会影响产量[3]。在科罗拉多州东部试验冬麦播种日期对麦双尾蚜为害的影响，分别设 5 个播种日期，最早在 8 月初，最晚在 10 月初，试验结果表明播种期早的冬麦比播种日期晚的冬麦受麦双尾蚜为害重[4]。Walker 认为在科罗拉多州西部，播种较早的旱作冬麦产量较高，并且麦双尾蚜在大多数年份不能越冬，但在水浇田，晚播冬麦虽然产量高，但麦双尾蚜容易越冬并造成为害；在科罗拉多州北部，晚播的冬麦田麦双尾蚜却较多，这是因为第二年春天晚播的冬麦比较幼嫩，有较多的麦双尾蚜迁入为害；在科罗拉多东南部，春天麦双尾蚜为害程度和播种日期直接相关，一般来讲，晚播的小麦受害较重[5]。因此，Peairs 建议在美国春麦尽可能早播，冬麦则根据不同地区可早可晚[6]。

在加拿大阿尔伯达省的试验证明，在 8 月 13 日播种的小麦上麦双尾蚜明显较多，这是由于冬麦出苗后正好赶上春麦收获，有较多的麦双尾蚜直接从春麦田迁入冬麦田，而 9 月 3 日

* 国家自然科学基金（批准号：39670109）、中国科学院重点项目（KS85-110-01，KZ952-S1-108）和中国科学院动物研究所所长基金资助项目
1999-01-29 收稿，1999-05-24 收修改稿

的晚播冬麦有利于躲避麦双尾蚜为害。因此，早播的冬麦产量损失比晚播的产量损失大[7]。

在埃塞俄比亚，试验了5～7月份内5个不同播种日期的大麦和麦双尾蚜危害程度的关系，早播大麦麦双尾蚜数量大，但产量高，晚播大麦虽可以避开麦双尾蚜为害，但产量随之下降[8]。1978年麦双尾蚜传入南非中部后，作物中心（Small Grain Center）建议只种冬麦，春麦由于出苗后就有麦双尾蚜寄生，所以不要种植，并且最好在5月后种植冬小麦，7月以后就不要播种，这样可以避免早播冬麦的麦双尾蚜迁入晚播冬麦田[9]。

1.2 肥料的影响

Riedell等人发现在全营养液内生长的小麦受麦双尾蚜为害后产量损失达30%，缺少氮的情况下产量损失达55%，缺少磷产量损失64%，缺少钾产量损失55%，缺少这三种元素的任何一种对每株上麦双尾蚜数量虽无影响，但麦双尾蚜的干重却减轻[5,10]。在温室实验结果表明氮肥对麦双尾蚜繁殖期前的发育无影响，每公顷施用50～148 kg磷肥使繁殖期前的发育时间明显缩短，氮肥和磷肥对麦双尾蚜繁殖量无影响，氮磷增加却使麦双尾蚜内禀增长率明显下降[11]。试验结果表明，每公顷施用氮肥0～210 kg，在干旱地，随氮肥增加麦双尾蚜成虫数量稍有增加，若蚜数量都比对照田多。但在水浇地，随着氮肥增加麦双尾蚜成虫、若虫和有翅蚜都减少，并且在施肥田受害率明显下降，所以土壤水分也是一影响因素[12]。每公顷施用0～166 kg氮肥对麦双尾蚜数量无影响，但旱田的麦双尾蚜数量比水浇田稍多[13]。

1.3 土壤水分的影响

关于水分和麦双尾蚜发生程度的关系报道较少，但是该蚜分布和危害与农田水分状况的关系似乎很密切。麦双尾蚜仅分布在世界的干旱和半干旱气候区。麦双尾蚜在美国分布于西部干旱和半干旱区，即在西经100度以西的区域，而美国中部半湿润区和东部湿润区未发现麦双尾蚜[14]。在埃塞俄比亚，夏季降水季节田间麦双尾蚜数量大大减少[7]。Walters认为充足的水分和肥料有利于作物抵抗麦双尾蚜为害[15]。干旱地块麦双尾蚜为害率较高，但降雨后干旱地和水浇地麦双尾蚜为害程度相似[16]。麦双尾蚜为害后即使在植株根部水分充足的情况下大麦却表现出缺水症状，作物对干旱的调节能力减弱[17]。Campbell在室内研究了水分和麦双尾蚜为害程度的关系，发现在受旱小麦上麦双尾蚜繁殖快，数量多，作物受害严重；而水分充足的作物上麦双尾蚜数量少，受害轻微，抗性品种在水分充足时不卷叶，并且干旱还影响菜蚜茧蜂 *Diaeratiell rapae* 的寄生能力，具体表现为寄生率下降，寄生蜂发育期延长，雌雄比率减小[18]。

麦双尾蚜生长发育和水分的关系研究很少，特别是麦双尾蚜分布和降水量的关系研究则更少，麦双尾蚜发育、繁殖速率和空气湿度的关系，麦双尾蚜为害程度和田间微环境湿度的关系等，还需要重点进行研究。

1.4 作物密度的影响

Walker用四种小麦品种分别设0.25 m、0.30 m和0.36 m的行距，发现较稀的后两种间距麦双尾蚜为害率较高，有翅蚜数量也较多，密植对麦双尾蚜有一定控制作用[19]。但目前这方面的研究极少。

1.5 野生寄主的影响

在南非，一种雀麦 *Bromus wildenovii* 和野燕麦 *Avena fatua* 为麦双尾蚜越夏寄主，小麦出苗后，麦双尾蚜不断地从越夏寄主转移到麦苗上为害[20]。在美国，Kindler 在温室做试验证明麦双尾蚜可以在 47 种喜冷性杂草和 18 种喜温性杂草上取食和繁殖，这些杂草中有 12 种是为保持土壤而种植的，喜冷性杂草主要有野麦属 *Elymus*、大麦属 *Hordeum*、小麦属 *Triticum*、雀麦属 *Bromus*、羊茅属 *Festuca* 杂草；但麦双尾蚜在 27 种蔬菜和 17 种豆科作物或杂草上不能存活[21]。在华盛顿州，从小麦收割到下一季节种植期间，多年生喜冷性杂草 *Festuca arundinacea*、*Agropyron desertorum*、*Dactylis glomerata* 是麦双尾蚜的转移寄主，但麦双尾蚜在这些草上的为害症状都不明显[22]。在科罗拉多州的试验证明，许多种杂草可以作为麦双尾蚜的转移寄主，麦双尾蚜数量较多的杂草有 *Eremopyron triticeum*、*Agropyron cristatum*、*Hordeum jubatum*、*Aegilops cylindrica*、*Elymus canadensis*、*Elytrigia intermedia*、*Avena fatua*、*Sporobolus cryptandrus*，并且在该州的不同地区麦双尾蚜对杂草的嗜好性不同[23]。据统计，麦双尾蚜的杂草寄主有 40 个属，140 多种，但其中 70% 不是该蚜的适宜寄主，在北美洲，有 9 种寄主为麦双尾蚜的最适宜的寄主[24]。另外，原苏联、埃塞俄比亚和 1988 年以前文献中报道的麦双尾蚜寄主，包括一些作物（如水稻）后来证明不是麦双尾蚜寄主[8,25,26]。

在农业防治措施中，不同的作物布局可能对麦双尾蚜有控制作用，种植诱集植物也可能是防治麦双尾蚜的一种有效方法，改变灌溉方式（如沟灌变喷灌）可能对麦双尾蚜的数量有重要影响，但未见这些方面的研究报道。

2 生物防治

2.1 天敌引进

在南非，田间虽有麦双尾蚜的天敌，但控制效果差，小麦不断地遭受麦双尾蚜的为害，所以南非通过美国和英国引进 4 种天敌瓢虫[27]，其中 *Adalia bipunctata* 和 *Hippodamia convergens* 在 1981 年释放入田间，但未建立起种群，在 1981 年 12 月仅找到 4 头 *A. bipunctata*。1991 年，南非又通过澳大利亚引进乌克兰的蚜小蜂 *Aphelinus hordei*，1994 年在一个试验站释放 14 000 头，两周后在田间发现 60% 的麦双尾蚜被寄生，这是历年来南非麦双尾蚜被寄生率最高的。另外，南非还通过美国间接引进巴基斯坦、伊朗、中国的双翅目天敌海神斑腹蝇 *Leucopis ninae*，已经饲养成功，并准备进行防治效果评价[28]。

美国尝试用生物方法来控制麦双尾蚜为害是历史上空前的大项目。麦双尾蚜传入美国后，在亚洲、欧洲、非洲和南美洲的许多国家和地区搜集麦双尾蚜天敌。关于引进天敌有两种步骤，先实验评价，筛选天敌后引进，或直接引进，再实验评价。美国决定用后种方法，主要原因是：1）麦双尾蚜危害严重，化学防治费用太高，寻求非化学防治方法的要求非常迫切；2）未见引进不适宜导致天敌成灾的报道；3）实验室表现好不一定在田间表现好；4）实验后天敌可能适宜实验室条件而对田间不适应；5）天敌分类工作可能要花费多年也不一定有结果[29]。

Hopper 等人总结了 1988～1994 年美国在海外采集天敌的地点、种类及数量[30]。在这 7

年中，美国有40多位专家和技术人员在17个国家共采集62次，天敌包括7个科的29种捕食性和寄生性天敌，6种真菌，共计85000头天敌被运入美国。这些天敌经过检疫和培养扩增，在西部16个州共释放1550万头天敌。释放的具体办法是：选择小麦受害率在5%～10%的地块，在秋季和春季每周释放一次，连续释放4～6周，在日落后1小时内释放完毕。目前有4种天敌已经在美国定居下来，分别是蚜茧蜂 *Aphidius uzbekistanicus* Luzhetzki 和 *Aphidius colemani*（Viereck）、蚜小蜂 *Aphelinus asychis* Walker 和 *Aphelinus albipodus* Hayat *et* Fatima。

目前美国在释放后天敌控制力变化方面的研究较少，对引进天敌的作用评价比较困难，可能还要花费较长的时间[29]。但这是反映该项目成功与否的关键，估计以后该方面的研究还会有所加强。另外，由于对分类工作的重视不足，使早期引进的天敌出现种名误订的现象，也增加了释放后评价的困难[29]，这是该项目的一个教训。

在澳大利亚还没有发现麦双尾蚜，Hughes 从乌克兰引入一种蚜小蜂 *Aphelinus varipes*（Foerster），进行麦双尾蚜生物防治的超前研究，但在田间未建立种群，原因可能是缺少适宜的寄主[31]。

2.2 麦双尾蚜的自然天敌资源及控制作用

麦双尾蚜自然天敌资源较丰富的区域是中国新疆，共发现天敌99种，其中昆虫纲68种，分别隶书于7目、13科、34属；蛛形纲30种，分别隶属于7科、21属；真菌1种[32]。在这些天敌中，发现3种寄生性天敌和4种捕食性天敌最为重要。寄生性天敌分别为燕麦蚜茧蜂 *Aphidius picipes* Nees，菜蚜茧蜂 *Diaeretiella rapae* M'Intosh 和白足蚜小蜂 *Aphelinus albipodus* Hayat *et* Fatima；捕食性天敌分别为多异瓢虫 *Hippodamia variegata*（Goeze），七星瓢虫 *Coccinella septempunctata*（L.），十一星瓢虫 *C. undecimpunctata*（L.）和龟纹瓢虫 *Propylaea japonica* Thunberg。根据美国研究者在欧亚大陆及南美洲调查发现，共搜集蚜小蜂3种，蚜茧蜂9种，瓢虫7种，食蚜蝇6种，真菌6种，其他4种，这些天敌种类经常出现在麦双尾蚜种群附近，和该蚜的关系可能较密切[29]。

智利是生物防治麦蚜较为成功的国家。1987年麦双尾蚜入侵到智利后并未造成大的危害，主要归功于其进行生物防治的结果[33]。1991～1992对麦双尾蚜生物防治进行研究的结果表明，在智利对麦双尾蚜控制作用比较明显的天敌有 *Aphelinus asychis*（1978引进），*Aphidius colemani*（1981～1982引进），*Aphidius ervi*（1976～1981引进），*Diaeretiella rapae*（1982引进），*Lysiphlebus testaceipes*（1974～1981引进），*Praon gallicum*（1978～1982引进）。这些天敌虽然是引进天敌，但已经在当地定居，并在麦双尾蚜入侵该地后发挥着重要的控制作用，因此智利被认为是预防性生物防治麦双尾蚜的典范[33]。

在法国，麦双尾蚜仅南部有分布，并且数量很少。Hopper 利用笼罩试验在法国南部评价天敌的作用，结果证明在法国南部，天敌是影响麦双尾蚜数量的最重要的因素[34]。在欧亚大陆，麦双尾蚜受天敌等自然控制因素的影响较大[30]，应该充分利用这些因素，防止麦双尾蚜成灾。

真菌可能对麦双尾蚜发挥着重要的自然控制作用。Kurdjumov 报道一种未知真菌在大麦上可杀死20%的麦双尾蚜，但作用仍不如捕食和寄生性天敌的作用大[35]。1989年，在马其

顿发现 *Pandora neoaphidis*（Remaudiere & Hennebert）Humber 在田间可杀死 30% 的麦双尾蚜，是该蚜最重要的死亡因素[36]，但在第 2 年调查时却未发现该种真菌。而 Poprawski 等人在埃塞俄比亚发现 *Neozygites fresenii*（Nowakowski）Batko 可导致 60% 麦双尾蚜死亡[37]。南非报道田间真菌在湿度较大时才感染麦双尾蚜，但和真菌伴生有 2 种病毒，可在真菌菌丝内复制[38]。在加拿大，1991～1992 年调查 48 块麦田，75% 田块内的蚜虫有真菌感染，有 17 块的麦田蚜虫感染率达 50% 以上，真菌以 *P. neoaphidis* 为主[39]。

在美国西北部感染麦蚜的真菌主要有 *P. neoaphidis*、*Conidiobolus obscurus*（Hall & Dunn）Remaudiere & Keller、*C. coronatus*（Costantin）Batko、*C. thromboides* Dreschler、*Entomophthora chromaphidis* Burger & Swain、*N. fresenii*、*Zoophthora radicans*（Brefeld）Batko、*Z. occidentalis*（Thaxter）Batko、*Beauveria bassiana*（Balsamo）Vuillemin 和 *Verticillium lecanii*（Zimmerman）Viegas，其中第 1 种是优势种[37,40,41]。根据测定，不同的真菌对蚜虫的致病力不同，*B. bassiana* 比 *Verticillium lecanii* 对麦双尾蚜的半致死量低，毒力更大，并且作用时间较快[42,43]。在爱达荷州田间调查发现真菌和寄生性和捕食性天敌一起对麦双尾蚜具有重要的控制作用，但在蒙大拿州，蚜虫受真菌感染的百分率（10%）远低于在爱达荷州的感染率（可达 90%）[40,41]。在科罗拉多州水浇地麦田，发现 3 种真菌，其中 *E. chromaphidis* 较普遍，在 1990 年 6 月下旬蚜虫感染率为 13%，7 月中旬可达 44%，被 *C. obscurus* 感染最高可达 20%，但旱田感染率一般不超过 2.5%[44]。另外 Poprawski 等人对真菌和寄生蜂的相互作用进行了研究，寄生蜂可以传播真菌，虽然真菌对寄生蜂也具有致病力，但两者对麦双尾蚜的综合控制作用要更大些[45]。Knudson 等人的田间笼罩试验表明真菌 *B. bassiana* 提高麦双尾蚜的死亡率，降低该蚜种群增长率[46]。

从目前实验来看，所有供试的真菌对麦双尾蚜都有致病力，但致病程度不一，另外真菌一般在田间蚜虫数量较大和小麦生长中后期感染率高，这可能在挽回作物损失方面作用有限，因此选择高致病力，并且在麦双尾蚜危害早期发挥作用的种类或菌株非常重要[37]。

真菌感染和田间湿度密切相关，但是麦双尾蚜分布于较干旱地区，干旱环境不利于真菌孢子的萌发和生长，所以发挥和增加蚜霉菌对麦双尾蚜的控制作用是以后研究的重点。如可以使用喷灌的方式浇水，增加田间湿度，应用真菌防治麦双尾蚜时选择阴雨天气，或配合浇水时期进行，可能增加防治效果。

另外，麦双尾蚜对内生真菌感染的和未感染的野麦（*Lolium perenne*）不具有选择性，刺吸行为也不受影响，但在受感染野麦上的存活率低[47]。

3　作物抗性研究

3.1　抗性品种的筛选

在南非，利用蚜虫胚胎计数方法作为判断 30 个小麦品种、50 个小麦品系和 6 类作物的抗性标准，发现小麦品种 Amigo 对麦双尾蚜有较强的抗性[48,49]。du Toit 对二倍体小麦和普通小麦的抗性进行研究，在 5 个二倍体小麦品系中，有一个品系的抗性和对照（抗性单粒小麦）相当，属抗性品系，而试验的 7 个普通小麦品种抗性均比对照品种抗性低[50]。目前，已经把 4 个抗性材料 PI 137739（含抗麦双尾蚜基因 DN1）、PI 262660（含抗麦双尾蚜基因 DN2）、PI 294994 和 AUS 22498 中的抗性基因通过回交方法转入到 5 个种植品种，其中有两

个品种 Tugela-DN 和 Betta-DN 表现出对麦双尾蚜有较强的抗性，已投入商业使用。

在美国，利用作物叶片的卷曲程度和叶绿素损失程度指标筛选小麦及其近缘种的抗性，在58个品种之中18个具有抗性[51]。南非报道的抗麦双尾蚜小麦对爱达荷州麦双尾蚜具有抗性，这些品种分别 PI 137739、PI 262660、PI 294994、SA 554、SA 836；爱达荷州的280个品种仅有4个具中等抗性；但来自伊朗和原苏联的品种具有明显的抗性，分别为 PI 47545、PI 94355、PI 94365、PI 94460、PI 151918[52]。Formusoh 利用同样方法，筛选547个 *Thinopyrum*、黑麦属 *Secale*、小麦属 *Triticum* 品种，有23个表现抗性，对其中7个抗性机制测定表明抗生性和耐害性起主要作用[53]。堪萨斯州温室内试验，突尼斯小麦203个二粒小麦和圆锥小麦品种以及10个面包小麦品种对麦双尾蚜的抗性，其中18个品种显示出较高的抗性[54]。对731个小黑麦品种进行抗性测定结果，4个来自俄罗斯品种 PI 386148、PI 386149、PI 386150 和 PI 386156，一个加州品种 CI 82 抗性最强，抗生性是最明显的抗性成分[55]。在美国，自麦双尾蚜传入后，共筛选了25 000份小麦、大麦及其近缘种材料，有86个具有明显的抗性[56]。现注册的抗性大麦品种有 STARS-9301B，小麦品种有 STARS-9302W、STARS-9303W、‘Halt’、KS92WGRC24、KS92WGRC25、CORWAI 等[57~61]。

中国在新疆伊宁对部分小麦的抗性进行了评定，结果表明，新疆当地的许多小麦品种对麦双尾蚜具有抗性[62]。

除了对麦类品种进行抗性试验外，还对禾本科杂草进行抗性成分鉴定。比较13种杂草（*Elytrigia*，*Elymus*，*Leymus* 三个属）和作物受麦双尾蚜为害程度，其中一种偃麦草 Elytrigia repens 、两种杂交偃麦草 *E. repens*×*E. spectina* 和 *E. repens*×*E. stipifolia* 受害较轻，具有一定抗性。*E. spectina* 和 *E. stipifolia* 等多种杂草受害程度和对照的小麦及大麦程度相似[63]。8种冰草（*Agropyron*）进行麦双尾蚜的抗性实验，除一种敏感外，其它7种都对麦双尾蚜有不同程度的抗性[64]。小麦族（Triticeae）的多种杂草进行试验，发现中等抗性的有 *Leymus* 和 *Elytrigia*，这两个属的植物可以用来筛选抗性基因；耐害和中等敏感的有 *Agropyron*，*Pseudoroegneria*，*Elymus*，*Pascopyrum*；敏感的有 *Hordeum* 和 *Thinopyron* 两个属的植物[65]。

3.2 麦类抗性基因的确定及抗性成分研究

du Toit 研究小麦抗性遗传时发现，抗性品种 PI 137739（来源于伊朗）和 PI 262660（来源于原苏联）分别为单一显性基因控制，抗性基因分别命名为 DN1 和 DN2[66]，抗性品种 PI 372129 中是由单基因控制的，并在 *Triticum tauschii* SQ24 中找出抗性基因，命名为 DN3，这些抗性基因能很容易转入到小麦中[67]。后又陆续发现的基因有 DN4（在 PI 372129 中，来源于原苏联）、DN5（在 PI 294994 中，来源于保加利亚）和 DN6（在 PI 243781 中，来源于伊朗）[56]。

作物抗性机理一般被区分为非嗜食性（non-preference）、抗生性（antibiosis）和耐害性（tolerance）三个方面，其中非嗜食性又称驱避性（antixenosis）。Rafi 报道小麦品种 PI 137739 和 PI 140207 具有抗生性，PI 262660 主要是耐害性，并有轻微的抗生性，研究同时发现抗性品种的叶绿素含量低，原因可能是蚜虫刺吸次数多，对叶绿素破坏较大[67]。在众多报道的抗性品种中，抗生性和耐害性是最普遍的抗性特征[56,68]。

4 防治指标和化学防治

4.1 防治指标

南非制定的麦双尾蚜防治指标为：小麦拔节期4%～7%的受害分蘖株，在抽穗期14%的受害分蘖株[69]。在麦双尾蚜侵入美国时，一般应用Du Toit等制定的拔节期10%的植株受害率[70]。有的使用春季冬麦8%的受害分蘖株作为防治指标[71]，秋季的防治指标为每7株小麦有2.2～4头蚜虫，或在春季每7株小麦有0.9～0.4头蚜虫[72]，大麦比小麦更容易受害，防治指标约为小麦的一半（受害茎率4%）[73]。Archer等测定受害株率每增加1%，潜在的产量损失增加0.48%[74]。在美国4个州的试验表明在北部受害分蘖株增加1%，小麦损失增加1%，分别是美国中部和南部州的1.6和3倍，北部小麦损失较重的部分原因是麦双尾蚜为害后小麦死亡率增加[75]。

4.2 抽样及决策

确定合理的抽样方法，才能准确确定麦双尾蚜的种群数量和为害率，和防治指标相结合，为化学防治决策提供依据。在贯序抽样方法中，已分别建立了贯序决策卡（Sequential Decision Cards）和快速抽样软件（Quick Sample）[76,77]，用这些工具可以进行抽样决策。由于小麦受麦双尾蚜危害后症状十分明显，抽样者可能过分注意受害植株，因此建议在田间抽样时两眼平视，不看植株取样，一旦样本确定后，再开始数麦双尾蚜数量[77]。为了节省田间调查时间，不少研究者还建立了麦双尾蚜种群估计模型（抽样方法）[78,79]。Feng等人发现使用使用“0”样方（样方内蚜虫数量为0）的比例估计麦蚜平均密度的方法精度较低[78]，因而研究了不同的T值（T≥0，为样方内蚜虫数量的一个认定值）对估计蚜虫平均数精度的影响，并确定了小麦不同生长时期适宜的T值[80,81]。

4.3 麦双尾蚜的化学防治

南非和美国都曾经大量使用化学农药对麦双尾蚜进行应急防治。在南非每公顷用125 mL甲基内吸磷和325 mL对硫磷混合喷施效果最好，2周后的防治效果达89.1%，du Toit用10%的甲拌磷和5%的乙拌磷进行土壤处理，单行100 m长度内施用0.035 kg，可以控制麦双尾蚜为害12周，产量比对照高[82,83]。Butts用11种内吸性杀虫剂对小麦种子进行处理，只有1种杀虫剂CGA73102对发芽和苗期生长无影响，对麦双尾蚜防治效果较好，施用量为每公斤种子拌0.008 kg药剂（有效成分）[84]。

在美国，使用林丹、GUSJM-12和高灭磷3种药剂进行种子处理，33天后，施药田防治效果和对照无差别，所以这些药物持续防效较短；用甲拌磷和乙拌磷进行土壤处理，防治效果可达2个月，可能第一个月未降雨是药效持久的缘故；用乙拌磷和呋喃丹处理，在播种后4.5月内麦双尾蚜量比对照明显减少；秋季用毒死蜱、对硫磷、敌杀磷、甲微剂（Penncap）、ASANA和POUNCE叶面喷施防治效果较好；春季用毒死蜱、甲微剂、SWAT、ASANA、POUNCE、对硫磷、敌杀磷、乐果和硫丹叶面喷施三周内防治效果都可达到90%[85]。另外的实验结果显示，毒死蜱（有效成分0.11 kg、0.23 kg）防治效果持久，对硫磷（有效成分0.45 kg）在三周内对麦双尾蚜杀伤性较好[86]。Johnson用内吸性农药乙拌磷、乐果、呋喃丹

和触杀性农药 ASANA、对硫磷、毒死蜱、敌杀磷和硫丹对不同生长期的小麦进行麦双尾蚜防治试验[87]：在分蘖期，只有乙拌磷可显著减少为害率；在拔节期和旗叶长出时，几种药物对麦双尾蚜控制无明显差别，表明用内吸性和触杀性药物都可以；在成熟期使用农药和不用药物的小麦产量无差别；另外药物混合施用和单独施用无差别。每公顷用 0.84 kg 有效成分乙拌磷比 0.56 kg 毒死蜱有效成分效果好，比用 0.42 kg 乐果防治效果好[88]。利用药物处理种子对麦双尾蚜的防治效果，效果最好的是用硫脲和锈枯灵混合物方法，用量每公斤有效成份各为 0.0025 kg，控制时间 20 天[89]。

加拿大测定了毒死蜱对麦双尾蚜的控制效果：每公顷用量 0.1～0.4 kg 有效成分控制效果达 97%～100%；0.1～0.3 kg 控制效果达 90% 以上，所以原来推荐的剂量 0.4 kg 应该减少，并且证明该药触杀性较小，但有薰蒸作用并能很快被叶子吸收对麦双尾蚜产生毒害[90]。使用硫丹、乙拌磷、毒死蜱、Esfenvalerate、乐果和乙基对硫磷，在春季（5 月 10 日和 15 日）大多数药物在喷药后第 7 天的防治效果较差，但在 14 天、21 天、28 天时，除硫丹外都达到 80% 以上的防治效果；在夏季（7 月 3 日），第 7 天的防治效果最好，14 天和 21 天的防治效果却下降，夏季高温可能影响药效的持久性[91]。

McMahon 推荐一种新型产品 Eymetrozine（CGA-215944），每公顷用 0.05～0.1 kg，对麦双尾蚜有触杀和内吸毒性作用[92]。在美国防治麦双尾蚜最常用的两种药物为乙拌磷和毒死蜱；还有一种新型的种子处理药剂 Imidacloprid（GanchoTM），每公斤种子用 0.0006～0.0025 kg有效成分拌种，在 1～3 个月内对麦双尾蚜有 90% 以上的控制作用，效果较好，但同时指出，叶面喷施药物由于不具选择性而导致其它蚜虫的抗药性增加，所以不宜喷施防治麦双尾蚜[93]。

随着麦双尾蚜研究的不断深入以及各种有效措施的应用，化学防治麦双尾蚜的研究越来越少，化学农药的使用数量也不断减少。在中国新疆，由于具有良好的生态条件，麦双尾蚜控制更多地运用各种自然控制因素，很少使用化学药剂防治麦双尾蚜[94]。

5 未来的研究方向

麦双尾蚜的防治研究中，如何发挥天敌作用得到了广泛的研究，这种研究趋势可能还要继续深入下去。在麦双尾蚜危害轻微的地区要注重以天敌为主的自然控制机制研究，在该蚜危害严重的地区，不仅要重视引入天敌的作用，更应该加强对本地天敌作用的评价，立足本地天敌，发挥自然控制作用。

小麦抗性研究是一个长期的过程，虽然通过转基因技术使该过程大大缩短，但麦双尾蚜有可能对抗性品种很快适应，从而使抗性品种失效。未来的研究要重视麦双尾蚜对抗性品种的这种反应，并注重和天敌利用相结合，实施综合防治。

大规模的麦双尾蚜防治研究已经进行了 20 多年，但麦双尾蚜和水分的相互作用研究很少。另外，麦田作为整个农田生态系统的一部分，和其它作物及田边植被有密切的联系，但是却很少把农田作为一个整体来研究麦双尾蚜的防治方法，这显然和综合治理的要求有一定的差距。未来的研究应该在这些方面有所加强。

麦双尾蚜在欧亚大陆危害轻微，但在北美洲危害严重，虽然两地在气候、天敌、寄主抗性、耕作制度、蚜虫生活型等诸多方面存在或多或少的差别，并且在麦双尾蚜研究的 20 多年

中取得了巨大的成就，在生物防治历史上、在相互协作防治害虫的规模上都是空前的，但是，对于欧亚大陆麦双尾蚜有虫不成灾这一简单现象的复杂本质，目前认识还相当肤浅[79]，关于野生寄主、天敌、作物品种等对麦双尾蚜的制约机制还停留在单一的试验或猜测上。显然，探明麦双尾蚜的自控因素仍是今后研究的重点之一，这不仅对麦双尾蚜防治有利，而且对其它害虫防治研究都具有重要的参考价值。

参 考 文 献（References）

1 Grossheim N A. The barley aphid *Brachycolus noxius* Mordvilko. Memoirs of Natural History Museum of the Zemstvo of the Government of Taurida III，1914，35～78

2 Halbert S，Connelly J，Johnston R *et al*. Impact of cultural practices on Russian wheat aphid population. Observations in Idaho，1987～1988. Proceedings of the second Russian wheat aphid workshop. Denver，Colorado. Colorado State Univ. Fort Collins，Colorado，Oct. 11～12，1988，47～53

3 Kammerzell K J，Johnson G D. Evaluation of different seeding dates to reduce Russian wheat aphid damage in winter wheat in Montana. Proceedings of the fourth Russian wheat aphid workshop. Bozeman，Montana，Oct 10～12，1990，63～74

4 Armstrong S，Walker C B，Peairs F B *et al*. The effect of planting date in eastern Colorado on Russian wheat aphid infestations in winter wheat. Proceedings of the fifth Russian wheat aphid conference，Fort Worth，Texas. Great Plains Agri. Counc. Publ. 142，Jan 26～28，1992，109～115

5 Walker C B，Peairs F. Cultural control and alternate hosts of Russian wheat aphid. Proceedings of the Sixth Russian wheat aphid workshop. Fort Collins，Colorado，Jan 23～25，1994，42～52

6 Peairs F B. Cultural control tactics for management of the Russian wheat aphid（Homoptera：Aphididae）. In：Quisenberry S S，Peairs F B eds. Proceedings：Response Model for an Introduced Pest-Russian Wheat Aphid. Maryland：Thomas Say Publications in Entomology，Entomological Society of America，1998，288～296

7 Butts R A. The influence of seeding dates on the impact of fall infestations of Russian wheat aphid in winter wheat. Proceedings of the fifth Russian wheat aphid conference，Fort Worth，Texas. Great Plains Agri. Counc. Publ. 142，Jan 26～28 1992，120～122

8 Mulatu B，Gebremedhin T. Russian wheat aphid：major pest of barley in Ethiopia. Proceedings of sixth Russian wheat aphid workshop，Fort Collins，Colorado，Jan 23～25，1994，169～181

9 Du Toit F. Russian wheat aphid control in summer rainfall areas. Farming S. Afr. Leafl. Ser. Wheat-Summer G. 6.1/1983，1～4

10 Riedell W E. Tolerance of wheat to Russian wheat aphid——nitrogen fertilizer reduces yield loss. J. Plant Nutr.，1990，13：579～584

11 Suarez A. Nitrogen and phosphorus fertilization of winter wheat：effects on Russian wheat aphid development. M. Sc. Thesis，Colorado State University，1991，1～83

12 Walker C B，Peairs F B，Echols J. Applications of nitrogen in spring and its effect on Russian wheat aphid infestations in winter wheat. Proceedings of the fourth Russian wheat aphid workshop. Montana State University，Bozeman，MT，Oct 10～12，1990，81～88

13 Bynum E D Jr，Archer T L，Onken A B. Abundance of RWA in irrigated and nonirrigated wheat with different nitrogen fertilizer rates. Proceedings of the second Russian wheat aphid workshop. Denver，Colorado. Colorado State Univ. Fort Colins，Colorado，Oct 11～12 1988，41～46

14 Anonymous. Economic impact of the Russian wheat aphid in the western United States：1989～1990. Proceedings of the fifth Russian wheat aphid conference，Jan 26～28，1992，Fort Worth，Texas. Great Plains Agri. Counc. Publ. 142，1992，1～14

15 Walters M C，Penn F，du Toit F *et al*. The Russian wheat aphid. Farming S. Afr. Leafl. Ser. Wheat-winter rainfall-wheat-irrigation，1980，G. 3. 1～6

16 Archer T L，Bynum E D Jr. Russian wheat aphid biology. Proceedings of the second Russian wheat aphid workshop. Denver，Colorado. Colorado State Univ. Fort Colins，Colorado，Oct 11～12，1988，119～126

17 Riedell W E. Effect of Russian wheat aphid infestation on barley plant response to drought. Physiol. Plant.，1989，77：587～592

18 Campbell R K. Aphid and drought stress in small grain：tritrophic interactions with aphid parasitoids and plant resistance. Ph. D. Dissertation，1992，Oklahoma State University

19 Walker C B. Impact of row spacing on RWA infestation in four varieties of winter wheat. Annual report of RWA research in Southeast Colorado，Colorado State University，1992

20 Hewitt P H，van Niekerk G J J，Walters M C *et al*. Aspects of ecology of the Russian wheat aphid，*Diuraphis noxia*，in the Bloemfontein district. I. The colonization and infestation of sown wheat，identification of summer hosts and cause of infestation symptoms. In：Walters M C ed. Progress in Russian wheat aphid（*Diuraphis noxia* Mordw.）research in the Republic of South Africa. S. Afr. Dep. Agric. Tech. Commun. 191，1984，3～13

21 Kindler S D，Springer T L. Alternate hosts of Russian wheat aphid（Homoptera：Aphididae）. J. Econ. Entomol.，1989，82（5）：1358～1362

22 Clement S L，Johnson R C，Pike K S. Field population of the Russian wheat aphid（Homoptera：Aphididae）and other cereal aphids on cool－season perennial grass accessions. J. Econ. Entomol.，1990，83：846～849

23 Hammon R，Armstrong S，Meyer W *et al*. Alternate hosts of Russian wheat aphid in Colorado. Proceedings of 3rd Russian wheat aphid conference，Albuquerque，New Mexico. New Mexico State Univ. Coop. Ext. Serv. Las Cruces，New Mexico，Oct 25～27，1989，4～7

24 Burd J D，Butts R A，Elliot N C *et al*. Seasonal development，overwintering biology，and host plant interactions of Russian wheat aphid（Homoptera：Aphididae）in North America. In：Quisenberry S S，Peairs F B eds. Proceedings：Response Model for an Introduced Pest － Russian Wheat Aphid. Maryland：Thomas Say Publications in Entomology，Entomological Society of America，1998，65～99

25 Kovalev O V，Poprawski T J，Stekolshchinov A V *et al*. *Diuraphis* Aizenberg（Hom.，Aphididae）：key to apterous viviparous females and a review of Russian language literature on the natural history of *Diuraphis noxia*（Kudjumov，1913）. J. Appl. Entomol.，1991，112：425～436

26 Hughes R D. A synopsis of information on the Russian wheat aphid，*Diuraphis noxia* Mordvilko. Commonw. Sci. Ind. Organ. Div. Entomol.（Canberra，Australian）Tech. Pap.，1988，28：1～39

27 Aalbersberg Y K，Walters M C，van Rensburg N J. The status and potential of biological control studies on *Diuraphis noxia*（Aphididae）. In：Walters M C ed. Progress in Russian wheat aphid（*Diuraphis noxia* Mordw.）research in the Republic of South Africa. S. Afr. Dep. Agric. Tech. Commun. 191，1984，44～46

28 Tolmay V，Prinsloo G. Russian wheat aphid（*Diuraphis noxia*）in South Africa. Proceedings of sixth Russian wheat aphid workshop. Proceedings of the sixth Russian wheat aphid workshop. Fort Collins，Colorado，Jan 23～25，1994，181～184

29 Prokrym D R，Pike K S，Nelson D J. Biological control of *Diuraphis noxia*（Homoptera：Aphididae）：Implementation and evaluation of natural enemies. In：Quisenberry S S，Peairs F B eds. Proceedings：Response Model for an Introduced Pest - Russian Wheat Aphid. Maryland：Thomas Say Publications in Entomology，Entomological Society of America，1998，183～208

30 Hopper K R，Coutinot D，Chen K *et al*. Exploration for natural enemies to control *Diuraphis noxia*（Homoptera：Aphididae）in the United States. In：Quisenberry S S，Peairs F B eds. Proceedings：Response Model for an Introduced Pest-Russian Wheat Aphid. Maryland：Thomas Say Publications in Entomology，Entomological Society of America，1998，166～182

31 Hughes R D，Hughes M A，Aeschlimann J P *et al*. An attempt to anticipate biological control of *Diuraphis noxia*（Hom.，Aphididae）. Entomophaga，1994，39（2）：211～223

32 Zhang R，Liang H.，Zhang J. *et al*. 1998，Natural enemies of Russian Wheat Aphid（*Diuraphis noxia* Mordvilko）in Xinjiang，China. Resource Technology 1997：Beijing International Symposium Proceedings. Beijing：China Forestry Publishing House，92～97

33 Stary P，Pike K，Gerding M *et al*. Parasitoid biological agents of Russian wheat aphid：the Chilean model. Proceedings of the

six Russian wheat aphid workshop. Fort Collins，Colorado，Jan 23 ～25，1994，229～231

34 Hopper K R，Aidara S，Agrets S *et al*. Natural enemy impact on the abundance of *Diuraphis noxia*（Homoptera：Aphididae） in wheat in southern France. Environ. Entomol.，1995，24（2）：402～408

35 Kurdjumov N V. The barley aphid，*Brachycolus korotnewi* Mordvilko. Tr. Polkavskoi S. Kh. Opyt. Stn. Otd. S. Kh. Entomol.，1911，2（5）：1～27

36 Carl K P，Mohyuddin I. Agriculture Canada annual project report 1989-Explorations on Russian wheat aphid in 1989 and collection of natural enemies. Commenw. Agric. Bur.，Int. Inst. Biol. Control，European Stn.（Delemont，Switzerland）Rep.，1989，20～22

37 Poprawski T J，Wraight S P. Fungal pathogens of Russian wheat aphid（Homoptera：Aphididae）. In Quisenberry S S，Peairs F B. eds. Proceedings：Response Model for an Introduced Pest-the Russian Wheat Aphid. Maryland：Thomas Say Publications in Entomology，Entomol. Soc. America，1998，209～233

38 von Wechmar M B，Jaffer M A，Williamson C *et al*. Association of aphid-infesting viruses with entomophthorales type fungi. Proceedings of the Eighth Entomological Congress of the Entomological Society of South Africa，1991，115

39 Goettel M S，Erlandson M A. Fungal pathogens of cereal aphids in Saskachewan and Alberta. Agrc. Can. Biocontrol News，4：45

40 Feng M G，Johnson J B，Kish L P. Survey of entomopathogenic fungi naturally infecting cereal aphids（Homoptera：Aphididae） for irrigated grain crops in southwestern Idaho. Environ. Entomol.，1990，19（6）：1 534～1 542

41 Feng M G，Johnson J B，Halbert S E. Natural control of cereal aphids（Homoptera：Aphididae）by entomopathogenic fungi （Zygomycetes：Entomophthorales）and parasitoids（Hymenoptera：Braconidae and Encyrtidae）on irrigated spring wheat in southern Idaho. Environ. Entomol.，1991，20（6）：1 699～1 710

42 Feng M G，Johnson J B. Bioassay of four entomophthoralean fungi（Entomophtholorali）against *Diuraphis noxia* and *Metopolophium dirhodum*（Homoptera：Aphididae）. Environ. Entomol.，1991，20（1）：338～345

43 Feng M G，Johnson J B，Kish L P. Virulence of *Verticilliam lecanii* and an aphid-derived isolate of *Beauveria bassiana*（Fungi：Hyphomycetes）for six species of cereal-infesting aphids（Homotera：Aphiddidae）. Environ. Entomol.，1990，19（3）：815～820

44 Wraight S P，Poprawski T J，Meyer W L *et al*. Natural enemies of Russian wheat aphid（Homoptera：Aphididae）and associated cereal aphid species in spring-planted wheat and barley in Colorado. Environ. Entomol.，1993，22（6）：1 383～1 391

45 Poprawski T J，Mercadier G，Wraight S P. Interactions between *Diuraphis noxia*，*Zoophthora radicans* and *Aphelinus asychis*-preliminary results of laboratory studies. In：Peairs F B，Pilcher S D. eds. Proceedings of the Fifth Russian Wheat Aphid Conference，Fort Worth，Texas. Great Plains Agri. Counc. Publ. 142，Jan 26～28 1992，180～188

46 Knudsen G R，Wang Z G. Microbial control of the Russian wheat aphid（Homoptera：Aphididae）with entomopathogen *Beauveria bassiana*. In Quisenberry S S，Peairs F B. eds. Proceedings：Response Model for an Introduced Pest-the Russian Wheat Aphid. Maryland：Thomas Say Publications in Entomology，Entomological Society of America，1998，234～247

47 Clement S L，Lester D G，Wilson A D *et al*. Behavior and performance of *Diuraphis noxia*（Homoptera：Aphididae）on fungal endophyte－infected and uninfected perennial ryegrass. J. Econ. Entomol.，1992，85（2）：583～588

48 Butts P A，Pakendorf K W. Wheat breeding for resistance to *Diuraphis noxia*-Methodology and progress. In：Walters M C ed. Progress in Russian wheat aphid（*Diuraphis noxia* Mordw.）research in the Republic of South Africa. S. Afr. Dep. Agri. Tech. Commun. 191，1984，47～52

49 Butts P A，Pakendorf K W. The utility of the embryo count method in characterizing cereal crops for resistance to *Diuraphis noxia*. In：Walters M C ed. Progress in Russian wheat aphid（*Diuraphis noxia* Mordw.）research in the Republic of South Africa. S. Afr. Dep. Agri. Tech. Commun. 191，1984，53～57

50 Du Toit F，van Niekerk H A. Resistance of *Triticum* species to the Russian wheat aphid，*Diuraphis noxia*（Mordvilko）（Homoptera：Aphididae）. Cereal Res. Commun.，1985，13：371～378

51 Nkongolo K K，Quick J S，Limin A E *et al*. Russian wheat aphid（*Diuraphis noxia*）resistance in wheat and related species. Can. J. Plant Sci.，1990，70：691～698

52 Smith C M，Schotzko D J，Zemetra R S *et al*. Identification of Russian wheat aphid（Homoptera：Aphididae）resistance in wheat. J. Econ. Entomol.，1991，84（1）：328～332

53 Formusoh E S，Wilde G E，Hatchett J H *et al*. Resistance to Russian wheat aphid（Homoptera：Aphididae）in wheat and wheat related hybrids. J. Econ. Entomol.，1994，87：241～244

54 Formusoh E S，Wilde G E，Hatchett J H *et al*. Resistance to Russian wheat aphid（Homoptera：Aphididae）in Tunisian wheats. J. Econ. Entomol.，1992，85（6）：2 505～2 509

55 Webster J A. Resistance in triticale to the Russian wheat aphid（Homoptera：Aphididae）. J. Econ. Entomol.，1990，83：1 091～1 095

56 Souza E J. Host plant resistance to the Russian wheat aphid（Homoptera：Aphididae）in wheat and barley. In Quisenberry S S，Peairs F B eds. Proceedings：Response Model for an Introduced Pest-the Russian Wheat Aphid. Maryland：Thomas Say Publications in Entomology，Entomological Society of America，1998，122～147

57 Mornhinweg D W，Porter D R，Webster J A. Registration of STARS-9301B barley germplasm resistant to Russian wheat aphid. Crop Sci.，1995，35：602

58 Baker C A，Porter D R，Webster J A. Registration of STARS-9302W and STARS-9303W，Russian wheat aphid resistant germplasms. Crop Sci.，1994，34：1 135～1 136

59 Quick J S，Ellis G E，Normann R M *et al*. Registration of ’Halt’ wheat. Crop Sci.，1995，36：210

60 Martin T J，Harvey T L. Registration of two wheat germplasms resistant to Russian wheat aphid：KS92WGRC24 and KS92WGRC25. Crop Sci.，1995，35：292

61 Quick J S，Nkongolo K K，Peairs F B *et al*. Registration of Russian wheat aphid resisitant wheat plasm CORWAI. Crop Sci.，1996，36：217

62 刘晏良. 麦双尾蚜对麦类品种自然选择性的初步研究. 新疆农业科技，1996（2）：18～19

63 Kindler S D，and Springer T L. Resistance to Russian wheat aphid in *Hordem* species. Crop Sci.，1991，31：94～97

64 Kindler S D，Springer T L. Identification of Russian wheat aphid resistance in *Agropyron* species. Proceedings of the fifth Russian wheat aphid conference，Fort Worth，Texas. Great Plains Agric. Counc. Publ. 142，Jan 26～28 1992，83～89

65 Kindler S D，Jensen K B，Springer T L. An overview：Resistance to the Russian wheat aphid（Homoptera：Aphididae）within the perennial Triticeae. J. Econ. Entomol.，1993，86（5）：1 609～1 618

66 Du Toit F. Inheritance of resistance in two *Triticum aestivum* lines to Russian wheat aphid（Homoptera：Aphididae）. J. Econ. Entomol.，1989，82：1 251～1 253

67 Rafi M M，Zemetra R S，Quisenberry S S. Interaction between Russian wheat aphid（Homoptera：Aphididae）and resistance and susceptible genotype of wheat. J. Econ. Entomol.，1996，89（1）：239～246

68 Unger L M，Quisenberry S S. Effect of antibiotic plant resisitance on the reproductive fitness of the Russian wheat aphid（Homoptera：Aphididae）. J. Econ. Entomol.，1997，90（6）：1 697～1 701

69 Du Toit F. Economic thresholds for *Diuraphis noxia*（Hemiptera：Aphididae）on winter wheat in the eastern Orange Free State. Phytophyl.，1986，18：107～109

70 Du Toit F，Walters M C. Damage assessment and economic threshold values for the chemical control of the Russian wheat aphid，*Diuraphis noxia*（Mordvilko）on winter wheat. Progress in Russian wheat aphid（*Diuraphis noxia* Mordw.）research in the Republic of South Africa. S. Afr. Dep. Agric. Tech. Commun. 191，1984，58～62

71 Bennett L E. Russian wheat aphid，*Diuraphis noxia*（Mordvilko），on dry land winter wheat in Southwestern Wyoming. Final report to the Wyoming Wheat Growers Association，Wyoming Wheat Grower Association，Laramie，WY，20 Aug. 1990

72 Girma M，Wilde G E，Harvey T L. Russian wheat aphid（Homoptera：Aphididae）affects yield and quality of wheat. J. Econ. Entomol.，1993，86：594～601

73 Legg D E，Archer T L. Sampling methods，economic injury levels，and economic thresholds for the Russian wheat aphid（Homoptera：Aphididae）. In：Quisenberry S S，Peairs F B eds. Proceedings：Response Model for an Introduced Pest-Russian Wheat Aphid. Maryland：Thomas Say Publications in Entomology，Entomological Society of America，1998，313～336

74 Archer T L，Bynum E D. Economic injury level for the Russian wheat aphid（Homoptera：Aphididae）on dryland winter

wheat. J. Econ. Entomol.，1992，85：987～992

75 Archer T L，Johnson D G，Peairs F B *et al*. Economic injury levels for the Russian wheat aphid（Homoptera：Aphididae）on winter wheat in several climate zones. J. Econ. Entomol.，1998，91（3）：741～747

76 Bechinski E，Hohman H. Sequential decision cards：a tool for Russian wheat aphid control. Idaho Coop. Ext. Bull. 1991，884

77 Legg D E，Hein G L，Peairs F B. Sampling Russian wheat aphid in the western Great Plains. Great Plaints Agric. Counc. Publ.，1991，138

78 Elliott N C，Kieckhefer R W，Walgenbach D D. Binomial sequential sampling methods for cereal aphid in small grains. J. Econ. Entomol.，1990，83（4）：1 381～1 387

79 Schaalje G B，Butts R A. Binomial sampling for predicting density of Russian wheat aphid（Homoptera：Aphididae）on winter wheat in the fall using a measurement error model. J. Econ. Entomol.，1992，85（4）：1 167～1 175

80 Feng M G，Nowierski R M，Zeng Z. Binomial sequential classification sampling plans for Russian wheat aphid（Homoptera：Aphididae）management：Robustness varying with tally thresholds of aphids in sample units. J. Econ. Entomol.，1994，87（5）：1 237～1 250

81 Feng M G，Nowierski R M，Zeng Z *et al*. Estimation of population density of Russian wheat aphid（Homoptera：Aphididae）from the proportion of grain tillers with different tally thresholds of aphids. J. Econ. Entomol.，1993，86（2）：527～535

82 Botha T C. Aspects of the chemical control of *Diuraphis noxia*. In：Walter M C ed. Progress in Russian wheat aphid（*Diuraphis noxia* Mordw.）research in the Republic of South Africa. S. Afr. Dep. Agri. Tech. Commun. 191，1984，63～65

83 Du Toit F. The use of two soil systemic insecticide against *Diuraphis noxia* on winter wheat. In：Walters M C ed. Progress in Russian wheat aphid（*Diuraphis noxia* Mordw.）research in the Republic of South Africa，S. Afr. Dep. Agric. Tech. Commun. 191，1984，67～68

84 Butts P A，Walters M C. Seed treatment with systemic insecticide for the control of *Diuraphis noxia*（Aphididae）. In：Walters M C ed. Progress in Russian wheat aphid（*Diuraphis noxia* Mordw.）research in the Republic of South Africa. 1984，S. Afr. Dep. Agri. Tech. Commun. 191，1984，69～71

85 Peairs F B. Chemical control of the Russian wheat aphid. Proceedings of the second Russian wheat aphid workshop. Denver，Colorado. Colorado State Univ. Fort Colins，Colorado，Oct 11～12，1988，134～139

86 Hammon R. Small plot Russian wheat aphid insecticide trial. Proceedings of the second Russian wheat aphid workshop. Denver，Colorado. Colorado State Univ. Fort Colins，Colorado，Oct 11～12，1988，154～155

87 Johnson G D，Kammerzell K，Hudson S. Summary of Russian wheat aphid insecticide trials in Montana～1988. Proceedings of the second Russian wheat aphid workshop. Denver，Colorado. Colorado State Univ. Fort Colins，Colorado，Oct 11～12，1988，140～141

88 Ludwig K A. Di-syston and Russian wheat aphid control. Proceedings of the 3rd Russian wheat aphid conference，Albuquerque，New Mexico. New Mexico State Univ. Coop. Ext. Serv. Las Cruces，New Mexico，Oct 25～27，1989，65～66

89 Kindler S D，Springer T L. Progress in insecticide control studies at Stillwater，Oklahoma：Russian wheat aphid Protection in winter wheat. Proceedings of the 3rd Russian wheat aphid conference，Albuquerque，New Mexico. New Mexico State Univ. Coop. Ext. Serv. Las Cruces，New Mexico，Oct 25～27，1989，71～76

90 Hill B D，Butts R A. Efficacy and mode of contact of chlorpyrifos（Larsban）against RWA. Proceedings of the fourth Russian wheat aphid workshop. Montana State University，Bozeman，MT，Oct 10～12，1990，139～142

91 Johnson G D，Kammerzell K J. Seasonal performance of selected insecticides against RWA in Montana. Proceedings of the fourth Russian wheat aphid workshop，Montana State University，Bozeman，MT，Oct 10～12，1990，143～149

92 McMahon A，Allemann D. Pymetrozine（CGA-215944）：a new product for aphid control. Proceedings of sixth Russian wheat aphid workshop，Fort Collins，Colorado，Jan 23～25，1994，198

93 Archer T. Economic injury level and chemical control of Russian wheat aphid. Proceedings of sixth Russian wheat aphid workshop，Fort Collins，Colorado，Jan 23～25，1994，97～106

94 张润志，张广学. 中国麦双尾蚜发生现状及研究进展. 见：张芝利等主编. 中国有害生物综合治理论文集. 北京：中国农业科技出版社. 1996，435～439

RESEARCH ADVANCES OF RUSSIAN WHEAT APHID (HOMOPTERA: APHIDIDAE): CONTROL MEASURES AND STRATEGIES

Liang Hongbin　Zhang Runzhi　Zhang Guangxue
(Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract The Russian wheat aphid (RWA), *Diuraphis noxia* (Mordvilko), was a worldwide cereal pest. The control measures to this pest were reviewed, emphasizing on natural enemies and plant resistance. First, spring wheat with earlier planting dates had higher yield and could resist RWA infestation to a more extent, while winter wheat with later-planting dates could escape infestation of Russian wheat aphid with very few exceptions. So, manipulation of wheat planting dates was suggested in worldwide scale for the aphid control. Second, the natural enemies were considered as the most important factor to reduced the pest status. Introduced and native natural enemies were evaluated for their potential as biological agents in South Africa, United States, and Australia. In South Africa, an introduced parasitoid and a predator were selected for releasing. In the United States, the project on exploring and releasing the natural enemies was unprecedented in biological control history. The endeavor in USA has been proved primarily successful today and will be afterward. The RWA control in Chile was considered most successful, partly because of their introduction of natural enemies before the aphid arrival. The native enemies together with other factors in central Asia and Europe apparently suppressed the aphids to a low level. The screen for resistant wheat was another important research project in fighting with RWA. In South Africa and USA, resistant wheat and barley were bred, and some of them had been put in commercial use for RWA control. The overwhelming mechanisms in resistant wheat varieties were antibiosis, tolerance or their combination. Though chemical insecticide spraying was proved as an effective method for aphid control, more and more research has switched from this method to non-chemical control measures as required by IPM. Future research should put more emphasis on augmentation of the natural enemies, revealing the relationship between RWA and agricultural ecosystem and integration of all effective measures.

Key words Russian wheat aphid (*Diuraphis noxia* (Mordvilko)), natural enemies, plant resistance, control measures